

尚 赏, 郭书亚, 张 艳, 等. 不同收获期对豫东地区夏玉米机械粒收质量的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 867-873.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.008

不同收获期对豫东地区夏玉米机械粒收质量的影响

尚 赏, 郭书亚, 张 艳, 汤其宁, 卢广远
(商丘市农林科学院, 河南 商丘 476000)

摘要: 为分析不同收获期对豫东地区夏玉米机械粒收质量的影响, 选取豫东地区 6 个主栽夏玉米品种作为试验材料, 研究 4 个不同收获期对夏玉米机械粒收质量指标(破碎率、杂质率、落粒损失率、落穗损失率和总损失率)的影响, 并分析不同收获期籽粒含水率与这些指标间的相关关系。结果表明, 品种、收获期、品种×收获期都能显著影响籽粒破碎率、杂质率和总损失率, F 值的排序都表现为收获期>品种>品种×收获期。收获期的推迟可显著降低机械粒收的破碎率、杂质率, 但如果过度推迟收获期, 会使总损失率极显著提高。通过分析籽粒含水率与机械粒收质量指标间的相关关系及拟合方程看出, 选择适宜的籽粒含水率可以提高机械粒收的质量水平, 在豫东地区 6 月 10 日播期条件下适宜机械粒收的籽粒含水率为 24.80%~29.80%, 适宜收获期为 9 月 30 日~10 月 7 日, 较该地区传统收获时间推迟 7~10 d。

关键词: 夏玉米; 收获期; 机械粒收; 含水率; 破碎率

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0867-07

Effects of different harvesting date on mechanical grain-harvesting quality of summer maize in Eastern Henan

SHANG Shang, GUO Shu-ya, ZHANG Yan, TANG Qi-ning, LU Guang-yuan
(Shangqiu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shangqiu 476000)

Abstract: In order to study the impact of different harvesting date on mechanical grain-harvesting quality of summer maize in Eastern Henan, six main summer maize varieties in Eastern Henan were selected as materials to study the effects of four different harvesting dates on the mechanical grain-harvesting quality indicators (broken rate, impurity rate, grain loss rate, ear loss rate and total grain loss rate). In addition, the correlation between the moisture content of the grain and the mechanical grain-harvesting quality indicators was analyzed. The results showed that broken rate, impurity rate and total grain loss rate were significantly affected by variety, harvesting date and interaction between variety and harvesting date, the F value followed the order of harvesting date > variety > the interaction between variety and harvesting date. The postponement of the harvest date could significantly reduce broken rate and impurity rate. However, if the harvest date was excessively postponed, the total grain loss rate would increase significantly. Through the analysis of the correlation and the fitting equations between grain moisture content and the mechanical grain-harvesting quality indicators, it was found that choosing suitable grain moisture content could improve the quality of mechanical grain-harvesting. Under the condition of sowing date June 10 in Eastern Henan, the suitable grain moisture content ranged from 24.87% to 29.80%, and the suitable date of mechanical grain-harvesting was about September 30 to October 7, which could be delayed 7-10 days compared with the traditional harvesting

date in this area.

Key words: summer maize; harvesting date; mechanical grain harvesting; moisture content; broken rate

目前, 中国水稻和小麦已经全面实行机械粒收, 玉米作为中国三大粮食作物之一, 其收获也正在朝着

收稿日期: 2021-03-29

基金项目: 河南省现代农业产业技术体系建设专项(Z2015-02-02)

作者简介: 尚 赏(1984-), 女, 河南商丘人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为玉米栽培和遗传育种。(Tel) 0370-3020883; (E-mail) shangshangsq@163.com

通讯作者: 卢广远, (Tel) 0370-2699735; (E-mail) Luyg378@163.com

机械粒收方向快速推进^[1-2]。豫东地区位于黄淮海玉米产区的东部,其地势平坦,有利于推广全机械化籽粒收获技术。目前豫东地区的玉米收获以机械穗收为主,机械粒收较少的主要原因是粒收的破碎率较高,导致玉米收购时的品质降低,并且影响了后期的烘干和储藏。柴宗文等^[3-5]通过分析黄淮海、华北等玉米产区的样本数据发现,机械粒收时由收获时玉米籽粒含水率过高而引起的高破碎率是中国玉米机械粒收技术大规模推广面临的主要问题^[6-9],破碎率随着含水率的降低而显著降低^[10],但当含水率低到一定程度后,破碎率又有提高趋势^[11]。有分析认为,玉米籽粒的破碎率与不同品种的破碎敏感性有关^[12-13]。除破碎率外,评判玉米机械粒收质量的指标(杂质率、损失率)^[14]也与含水率有显著相关性^[15-16]。李璐璐等^[4]研究发现,随着玉米籽粒含水率降低,杂质率也随之降低,但同时增加了落穗的风险,使损失率提高^[17]。玉米品种、种植密度、栽培模式、生长环境、收获机机型等因素都会对机械粒收产生较大影响

响^[4,10,18-20]。本研究在前人研究的基础上,选择豫东地区主栽的 6 个夏播玉米品种作为试验材料,侧重分析 4 个不同收获时期的籽粒含水率、机械粒收质量指标的变化规律,进一步分析收获期对机械粒收质量的影响,以期根据机械粒收质量指标标准,在籽粒含水率的可控范围内选择适宜的收获期,为豫东地区进行高质量玉米机械粒收技术的推广提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2019 年 6-10 月在河南省商丘市梁园区双八镇薛庄(34°50'N,115°64'E)进行,该地区年平均气温为 13.9~14.3℃,年平均日照时数为 2 204.4~2 427.6 h,年平均积温($\geq 0^\circ\text{C}$)为 5 100~5 300℃,年平均降水量为 653~874 mm。如图 1 所示,该试验地区 6-10 月的平均气温为 23.4℃,总降水量为 437.6 mm。试验地前茬种植的作物为小麦。

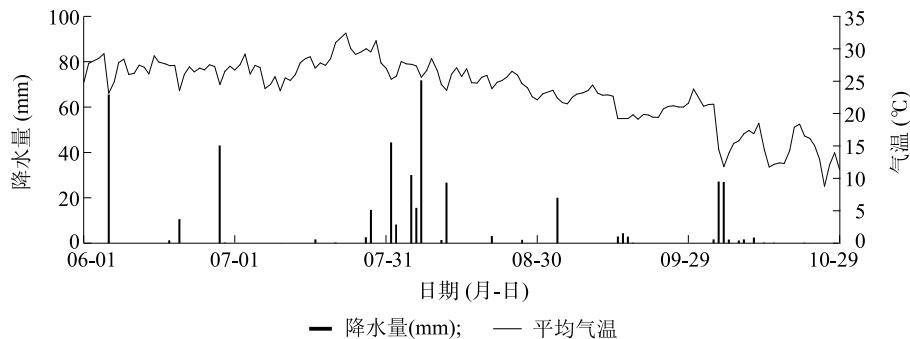


图 1 试验地区 6-10 月玉米生长期的降水量和平均气温

Fig.1 Daily precipitation and average temperature during summer maize growing period from June to October in the study area

1.2 供试材料

参试玉米品种为豫东地区的 6 个主栽品种:豫单 9953、新单 68、登海 618、郑单 958、迪卡 517 和联创 808。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,选取 6 个豫东地区主栽夏播玉米品种,于 2019 年 6 月 10 日进行统一播种,种植密度均为 $1\text{ hm}^2\ 75\ 000$ 株,每个品种种植 4 行,种植行距 60 cm,行长 50 m,宽 2.4 m,小区面积为 120 m^2 。6 个品种分 4 个收获期收获,分别为 2019 年 9 月 23 日、9 月 30 日、10 月 7 日、10 月 14 日。机械粒收使用小麦联合收割机(福田雷沃谷神 GE 60),更换割幅为 4 行的割台,收获速度为 0.8

m/s,由同一工作人员完成收获操作。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 含水率、破碎率和杂质率 机械粒收后在机仓内随机取 2 kg 收获的籽粒,将谷物水分测定仪(LDS-1G)调节至玉米选项,测量籽粒含水率,4 个收获期每个品种共进行 3 次重复测量,计算 3 次测量的平均值,记作含水率。在收割段内随机于机仓内选取 2 kg 左右的玉米脱粒样品进行人工拣选,分为籽粒、非籽粒 2 个部分,分别测量其质量(m_{KW1} 、 m_{NKW})。将籽粒部分再进行人工拣选,分拣出破碎籽粒、完整籽粒,分别测量其质量(m_{BKW} 、 m_{KW2}),每个指标测量 3 次,取平均值。具体计算公式如下:

$$\text{破碎率} = m_{\text{BKW}} / (m_{\text{KW2}} + m_{\text{BKW}}) \times 100\%$$

杂质率= $m_{\text{NKW}}/(m_{\text{KW1}}+m_{\text{NKW}})\times 100\%$ 。

1.4.2 落穗损失率、落粒损失率和总损失率 在收割段内随机选取 5 m 行长的样点,共选取 3 个样点。在选取的每个机械收割范围内进行落穗、落粒的收集统计,将落下的果穗进行脱粒,测定落穗的粒质量,单位面积内落穗的粒质量记作 m_{GKW} 。测定落粒部分的质量,单位面积内的落粒质量记作 m_{SKW} ,根据单位面积的产量计算机械粒收的落穗损失率、落粒损失率。各指标测量 3 次后取平均值,计算公式如下:

落穗损失率= $m_{\text{GKW}}/\text{单位面积产量}\times 100\%$;

落粒损失率= $m_{\text{SKW}}/\text{单位面积产量}\times 100\%$;

总损失率= $(m_{\text{GKW}}+m_{\text{SKW}})/\text{单位面积产量}\times 100\%$ 。

1.5 数据处理及分析

用 Excel 2003 进行数据处理和散点图绘制,用 SPSS 23 对籽粒含水率与机械粒收质量指标间的相关性进行统计分析和回归方程的拟合度检验。

2 结果与分析

2.1 品种和收获期对机械粒收破碎率、杂质率和总损失率的影响

从破碎率的主体间效应的检验结果可以看出,以品种、收获期、品种×收获期为自变量,以破碎率为因变量进行单因素方差分析,按 F 值从大到小排序为收获期、品种、品种×收获期,说明影响该区域破碎率的最主要因素为收获期,其次是品种、品种×收获期(表 1)。由表 2、表 3 可以看出,以杂质率、总损失率为因变量,以品种、收获期、品种×收获期为自变量, F 值的排序均表现为收获期>品种>品种×收获期。根据所选品种,在该地区进行机械粒收时,选择适宜收获期能显著提高玉米机械粒收的收获质量。

表 1 籽粒破碎率的主体间效应检验结果

Table 1 Test results of the intersubjectivity effect of the broken rate

项目	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F 值	P 值
校正的模型	225.601	23	9.809	154.307	0
截距	2 162.737	1	2 162.737	34 023.130	0
品种	48.405	5	9.681	152.298	0
收获期	168.021	3	56.007	881.076	0
品种×收获期	9.175	15	0.612	9.622	0
误差	3.051	48	0.064		
总计	2 391.389	72			
修正后总计	228.653	71			

因变量为破碎率;模型的 $R^2=0.987$ 。

表 2 杂质率的主体间效应检验结果

Table 2 Test results of the intersubjectivity effect of the impurity rate

项目	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F 值	P 值
校正的模型	70.001	23	3.044	106.973	0
截距	391.067	1	391.067	13 745.100	0
品种	13.645	5	2.729	95.916	0
收获期	53.327	3	17.776	624.774	0
品种×收获期	3.030	15	0.202	7.099	0
误差	1.366	48	0.028		
总计	462.434	72			
修正后总计	71.367	71			

因变量为杂质率;模型的 $R^2=0.981$ 。

表 3 总损失率的主体间效应检验结果

Table 3 Test results of the intersubjectivity effect of the total grain loss rate

项目	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F 值	P 值
校正的模型	321.182	23	13.964	289.694	0
截距	1 835.271	1	1 835.271	38 072.870	0
品种	57.780	5	11.556	239.732	0
收获期	244.051	3	81.350	1 687.620	0
品种×收获期	19.351	15	1.290	26.762	0
误差	2.314	48	0.048		
总计	2 158.767	72			
修正后总计	323.496	71			

因变量为总损失率;模型的 $R^2=0.993$ 。

2.2 不同玉米品种在 4 个收获期的籽粒含水率变化

由图 2 可以看出,随着收获期的推迟,玉米籽粒的含水率逐渐降低。各品种在 4 个收获期的籽粒含水率为 17.2%~42.5%,在第 1 个收获期,豫单 9953 的含水率最低,在最后 1 个收获期,新单 68 的含水率最低,其次是豫单 9953。联创 808 在 4 个不同收获期的籽粒含水率均最高。在 4 个收获期,籽粒的平均含水率分别为 37.3%、33.6%、27.5%和 20.0%。各品种间的脱水速率也存在差异,豫单 9953 在前期的脱水速率相对较低,从 9 月 30 日开始加速脱水,在 9 月 30 日至 10 月 7 日,豫单 9953、迪卡 517 的脱水速率达到最高值。登海 618、郑单 958 和联创 808 的脱水速率随收获时期推迟均逐渐提高。

2.3 不同玉米品种在 4 个收获期的破碎率和杂质率的变化

由图 3A 可以看出,随着收获期的推迟,所选 6 个

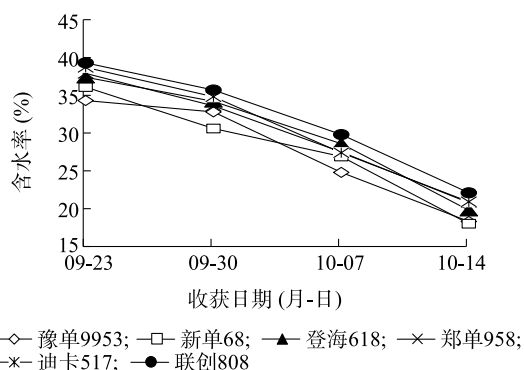
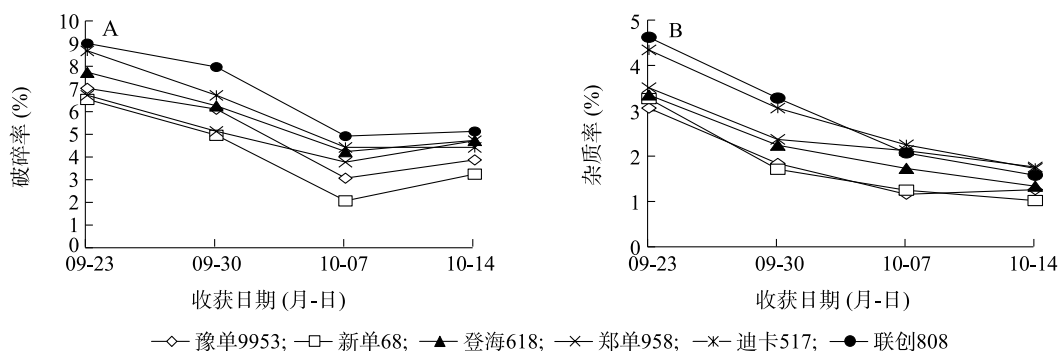


图2 不同收获时期、不同玉米品种的籽粒含水率变化

Fig.2 Grain moisture content of different maize varieties harvested on different dates

玉米品种的破碎率在第1个收获期至第3个收获期快速降低,在第3个收获期至第4个收获期又微有升高,破碎率为1.97%~9.26%,4个收获期的平均破碎率分别为7.62%、6.19%、3.75%、4.36%。在9月23日收获期,



A:破碎率;B:杂质率。

图3 不同玉米品种在4个收获期的破碎率和杂质率变化

Fig.3 Changes of broken rate and impurity rate of different maize varieties during four harvest dates

2.4 不同玉米品种在4个收获期的落粒损失率和落穗损失率变化

玉米机械粒收的损失可分为落粒损失、落穗损失2个部分。由图4A可以看出,随着收获期的推迟,机械粒收的落粒损失率变化规律不明显,且不同玉米品种的变化趋势不同,落粒损失率为0.31%~1.46%,4个收获期的落粒损失率分别为0.62%、0.87%、0.83%和0.50%,最后1个收获期的平均落粒损失率最低。由图4B可以看出,随着玉米收获期的推迟,落穗损失率呈逐渐提高的趋势,且各品种之间存在差异。4个收获期的落穗损失率分别为1.95%、3.18%、5.54%和6.71%,在前2个收获期,落穗损失率均达到 $\leq 5.00\%$ 的标准,在后2个收获

各品种的破碎率均超过了GB/T 21961-2008《玉米收获机械试验办法》中小于5.00%的要求。在9月30日收获期,除新单68外,其余品种的破碎率均 $\geq 5.00\%$ 。在10月7日收获期,各品种的破碎率均达到 $\leq 5.00\%$ 的标准。在10月14日收获期,各品种的破碎率较10月7日收获期略有升高,除联创808外,其余各品种的破碎率均达到 $\leq 5.00\%$ 的标准。由图3B可以看出,随着收获期的推迟,不同玉米品种的杂质率呈逐渐降低的变化趋势(除豫单9953在最后1次收获期略有升高外),为0.97%~4.97%,在4个不同收获期,平均杂质率分别为3.69%、2.42%、1.76%、1.45%。在9月23日收获期,各品种的杂质率均高于 $\leq 3.00\%$ 的标准。除9月30日收获期的迪卡517、联创808外,此收获期的其他品种和10月7日、10月14日收获期的各品种杂质率均达到 $\leq 3.00\%$ 的标准。由此可见,推迟玉米收获期能有效降低破碎率、杂质率,提高玉米机械粒收的质量水平。

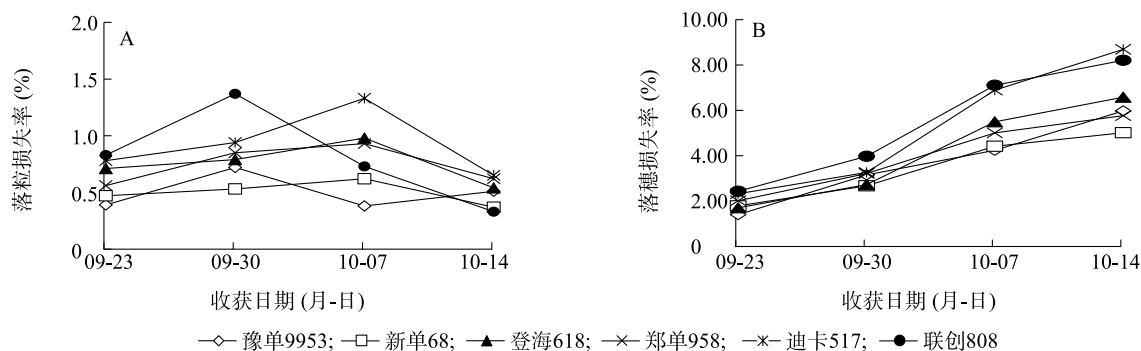
期,落穗损失率高于5.00%,在最后1个收获期,平均落穗损失率最高。总损失率的变化趋势与落穗损失率的变化趋势相同,4个收获期的总损失率分别为2.57%、4.04%、6.37%和7.21%,其中落穗损失率占总损失率的比例分别为78.85%、78.56%、86.97%和93.02%,说明玉米机械粒收的损失绝大部分来自落穗损失,后2个收获期的平均总损失率高于 $\leq 5.00\%$ 的标准。由此可见,推迟收获期有提高落穗损失率的风险,选择适宜的收获期可减少产量的损失。

2.5 籽粒含水率与机械粒收质量的相关性

由表4可以看出,机械粒收时籽粒含水率与破碎率、杂质率、落粒损失率呈极显著的正相关关系,

结合图2可以看出,随着收获期推迟,籽粒含水率降低,可以减小破碎率、杂质率和落粒损失率;籽粒含水率与落穗损失率和总损失率呈极显著的负相关关系,说明收获期的推迟同时也会提高落穗损失率和总损失率,可能由于在籽粒含水率较低的情况下,果穗苞叶干松,果穗向下耷拉,使得落穗损失率、总损失率提高;落粒损失率与落穗损失率、总损失率呈正

相关关系,但相关性不显著;落穗损失率与总损失率呈极显著正相关关系,说明落穗损失率是影响机械粒收总损失率的主要因素。破碎率与杂质率呈极显著的正相关关系,可能由于当籽粒含水率较高时,穗轴也较湿,在脱粒过程中穗轴残留在籽粒中,使得杂质率较高,此外,破碎率与落粒损失率呈显著的正相关关系。



A:落粒损失率;B:落穗损失率。

图4 不同玉米品种在4个收获期的落粒损失率、落穗损失率变化

Fig.4 Changes of grain loss rate and ear loss rate of different maize varieties during four harvest dates

表4 籽粒含水率与机械粒收质量的相关性

Table 4 Correlation between grain moisture content and mechanical grain-harvesting quality

项目	籽粒含水率	破碎率	杂质率	落粒损失率	落穗损失率	总损失率
籽粒含水率	1.000					
破碎率	0.750 **	1.000				
杂质率	0.818 **	0.894 **	1.000			
落粒损失率	0.336 **	0.249 *	0.319 **	1.000		
落穗损失率	-0.752 **	-0.579 **	-0.613 **	0.029	1.000	
总损失率	-0.700 **	-0.540 **	-0.565 **	0.157	0.992 **	1.000

* 表示相关性在 0.05 水平显著, ** 表示相关性在 0.01 水平显著。

2.6 籽粒含水率对机械粒收质量指标的影响

由图5A可以看出,籽粒破碎率随籽粒含水率的降低表现出先快速降低后略微升高的趋势,拟合方程为 $Y = 0.011 0x^2 - 0.444 5x + 8.482 5$ ($R^2 = 0.642 8^{**}$, $n = 72$),通过拟合方程计算得出含水率为 20.20%,此时破碎率最低,为 3.99%。当含水率为 10.60%~29.80%时收获,破碎率可低于机械粒收质量指标的标准(5.00%)。由图5B可以看出,随着籽粒含水率降低,杂质率表现出先逐渐减低后又趋于平稳的趋势,拟合方程为 $Y = 0.005 3x^2 - 0.193 7x + 3.112 3$ ($R^2 = 0.730 0^{**}$, $n = 72$)。通过拟合计算得出,当含水率为 18.30%时,杂质率最低,为 1.34%;当籽粒含水率 $\leq 35.96\%$ 时,杂质率低于

机械粒收质量指标的标准(3.00%)。由图5C、图5D可以看出,落穗损失率和总损失率的变化趋势一致,落穗损失率与籽粒含水率的拟合方程为 $Y = 20.056e^{-0.055 9x}$ ($R^2 = 0.584 5^{**}$, $n = 72$),总损失率与籽粒含水率的拟合方程为 $Y = 17.417e^{-0.045 1x}$ ($R^2 = 0.501 2^{**}$, $n = 72$),当籽粒含水率 $\leq 24.80\%$ 时,落穗损失率高于 5.00%。

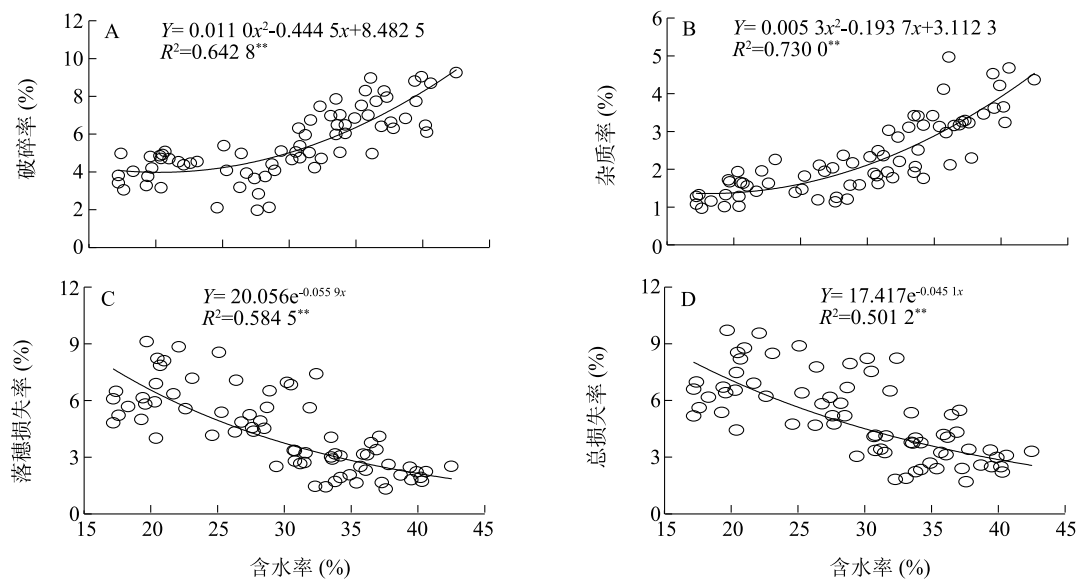
3 讨论

3.1 收获期对籽粒含水率和机械粒收质量的影响

玉米机械粒收时籽粒含水率可直接影响收获的质量水平,王克如等^[20]研究发现,随着籽粒含水率降低,破碎率表现出先快速降低后升高的趋势。李璐璐

等^[21]研究发现,在黄淮海地区进行机械粒收时,当籽粒含水率为 15.47%~24.78% 时,破碎率可达到<5.00% 的标准。本研究在水肥均衡的同一地块选择豫东地区主栽的 6 个夏玉米品种,采用同一收获机器和同一机器操作人员,研究 4 个收获期对籽粒含水率变化的影响及收获期对机械粒收质量的影响。结果表明,随收获期的推迟,籽粒含水率呈逐渐降低的趋势;破碎率在第 1 个收获期至第 3 个收获期快速降

低,在第 3 个收获期至第 4 个收获期略有升高;杂质率呈逐渐降低的趋势;落穗损失率、总损失率的变化趋势整体一致,都呈逐渐升高的趋势;落粒损失率没有明显的变化规律。通过对籽粒含水率与机械粒收质量的相关关系分析,同时兼顾机械粒收质量的各项标准可知,寻求最佳籽粒含水率的收获期是提高玉米机械粒收质量水平较有效的方法。



A: 破碎率; B: 杂质率; C: 落穗损失率; D: 总损失率。

图 5 籽粒含水率与机械粒收质量指标间的函数关系

Fig.5 Functional relationship between grain moisture content and mechanical grain-harvesting quality indicators

3.2 籽粒破碎率和损失率高是豫东地区推进玉米机械粒收技术的主要问题

玉米机械粒收技术主要在中国东北早熟区和西北地区广泛应用^[22],而在豫东地区的应用程度较低,该地区农户以机械摘穗收获为主,便于后期的储存、脱粒和晾晒。机械粒收技术应用程度低的主要原因是破碎率和烘干成本较高,在储藏过程中易发生霉变,此外,机械粒收质量较低,如何降低破碎率是机械粒收技术应用中迫切需要解决的问题。本研究结果表明,在 9 月 23 日、9 月 30 日收获期收获的玉米籽粒平均破碎率高于 5.00%,在 10 月 7 日、10 月 14 日收获期收获的玉米籽粒的平均破碎率符合<5.00% 的标准。通过拟合方程计算发现,当含水率为 10.60%~29.80% 时,籽粒破碎率可达到<5.00% 的标准。玉米收获时含水率为 20.20%,籽粒破碎率达到最低值,本研究结果与李璐璐等^[21]研究

得出的结果相近。张万旭等^[5]研究发现,多角质或偏角质的玉米品种耐破碎能力强,而偏粉质的玉米品种耐破碎能力较差,在选择适宜收获期的同时,选择耐破碎能力强的品种可大大降低机械粒收的破碎率。

本研究还着重分析了机械粒收的损失率变化,发现随着收获期的推迟,增加了落穗风险。本研究结果表明,10 月 7 日、10 月 14 日收获时,平均落穗损失率、总损失率都高于 5.00%,落穗损失率占总损失率的比例平均为 84.35%,说明落穗损失是造成机械粒收总损失的主要因素。本研究根据总损失率、落穗损失率与籽粒含水率的拟合方程得出,当籽粒含水率低于 24.80% 时,落穗损失率将高于 5%。推迟收获期而使落穗损失率提高的原因,可能与玉米在田间站秆时间长,自然衰老导致的秆穗连接力^[23-24]、茎秆含水量和干物质^[25]等的降低和倒伏率

的提高^[17]有关。根据机械粒收质量与籽粒含水率的拟合方程,确立豫东地区适宜机械粒收的籽粒含水率范围为24.80%~29.80%,同时选择生理成熟后站秆时间长、抗倒伏的玉米品种,可有效解决因推迟收获期而导致的损失率高的问题。

3.3 选择适宜收获期是推广玉米机械粒收技术的关键

豫东地区以冬小麦-玉米一年两熟轮作为主导种植模式,在光热资源、土地资源不足和种植时间紧张的影响下^[26],该地区农户多数选择尽早收获夏玉米,此时收获的籽粒含水率、破碎率都较高,影响了高质量、大规模机械粒收技术的推广。本研究分别通过对机械粒收质量指标破碎率、杂质率和损失率的主体间效应的检验发现,影响该地区机械粒收质量指标的最主要因素为收获期,其次是品种。本研究在6月10日播种条件下,考虑收获时符合机械粒收质量指标的各项标准,建议适宜机械粒收的收获期可选择9月30~10月7日,较该地区传统收获时间推迟7~10 d,在不影响该地区10月中旬播种小麦的条件下,可提高玉米的机械粒收质量。

参考文献:

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [2] 王进军,桑立君. 玉米籽粒机收发展及其与品种的关系[J]. 东北农业科学,2020,45(3):22-24,40.
- [3] 柴宗文,王克如,郭银巧,等. 玉米机械粒收质量现状及其含水率的关系[J]. 中国农业科学,2017,50(11):2036-2043.
- [4] 李璐璐,雷晓鹏,谢瑞芝,等. 夏玉米机械粒收质量影响因素分析[J]. 中国农业科学,2017,50(11):2044-2051.
- [5] 张万旭,王克如,谢瑞芝,等. 玉米机械收获籽粒破碎率与含水率关系的品种间差异[J]. 玉米科学,2018,26(4):74-78.
- [6] 高连兴,李 飞,张新伟,等. 含水率对种子玉米脱粒性能的影响机理[J]. 农业机械学报,2011,42(12):92-96,42.
- [7] 柳枫贺,王克如,李 健,等. 影响玉米机械粒收质量因素的分析[J]. 作物杂志,2013(4):116-119.
- [8] 王克如,李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析[J]. 中国农业科学,2017,50(11):2027-2035.
- [9] 郭亚南. 玉米籽粒含水率与破碎的关系及适收期预测[D]. 石河子:石河子大学,2019.
- [10] 李少昆,王克如,谢瑞芝,等. 玉米籽粒机械化收获破碎率研究[J]. 作物杂志,2017(2):76-80.
- [11] 相茂国. 玉米籽粒直收机械适应性研究[D]. 淄博:山东理工大学,2014.
- [12] 易克传,朱德文,张新伟,等. 含水率对玉米籽粒机械化直接收获的影响[J]. 中国农机化学报,2016,37(11):78-80.
- [13] 董鹏飞,郭亚南,王克如,等. 玉米籽粒耐破碎性及其评价与测试方法[J]. 玉米科学,2018,26(4):79-84.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 玉米收获机械试验办法:GB/T 21961-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [15] 李 川,乔江芳,谷利敏,等. 影响玉米籽粒直接机械化收获质量的生物学性状分析[J]. 华北农学报,2015,30(6):164-169.
- [16] 杨锦超,宋 碧,罗英舰,等. 不同玉米品种机械粒收质量评价及其鉴定指标初步筛选[J]. 河南农业科学,2018,47(11):25-31.
- [17] 薛 军,王 群,李璐璐,等. 玉米生理成熟后倒伏变化及其影响[J]. 作物学报,2018,44(12):1782-1792.
- [18] 郭红亮,刘永忠,常海霞,等. 山西省中晚熟玉米穗部相关性状与收获期籽粒含水率的多重分析[J]. 作物杂志,2019,35(4):37-41.
- [19] 刘京宝,房志勇,赵 霞,等. 河南省夏玉米最佳收获期研究[J]. 河南农业科学,2011,40(6):46-48,55.
- [20] 王克如,孔令杰,袁建华,等. 江苏沿海地区夏玉米机械粒收质量与品质的筛选[J]. 玉米科学,2018,26(5):110-116.
- [21] 李璐璐,薛 军,谢瑞芝,等. 夏玉米籽粒含水率对机械粒收质量的影响[J]. 作物学报,2018,44(12):1747-1754.
- [22] 雷晓鹏. 黄淮海地区玉米机械收获籽粒可行性研究[D]. 保定:河北农业大学,2015.
- [23] 孙 超,张进龙,杨宝玲,等. 玉米果穗根部和穗柄拉伸力学特性测试[J]. 中国农机化学报,2018,39(6):7-10.
- [24] 李心平,李玉柱,高 吭,等. 种子玉米籽粒仿生脱粒机理分析[J]. 农业机械学报,2011,42(2):99-103.
- [25] 赵 波,吴雅薇,李小龙,等. 四川春玉米生理成熟后穗下茎秆倒折的影响因素[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2020,46(3):278-284.
- [26] 谢瑞芝,雷晓鹏,王克如,等. 黄淮海夏玉米籽粒机械收获研究初报[J]. 作物杂志,2014(2):76-79.

(责任编辑:徐 艳)